

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-313966

(43)Date of publication of application : 25.10.2002

(51)Int.Cl. H01L 21/8247  
 H01L 27/105  
 H01L 27/115  
 H01L 29/788  
 H01L 29/792

(21)Application number : 2001-116439

(71)Applicant : TARUI YASUO  
 NIPPON PRECISION CIRCUITS INC

(22)Date of filing : 16.04.2001

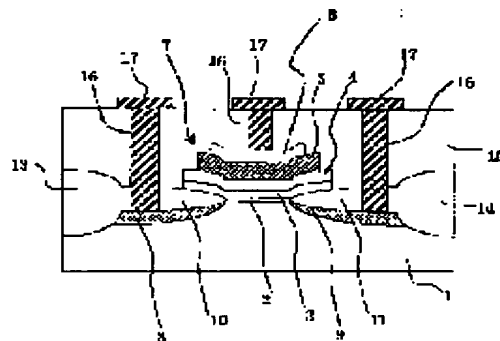
(72)Inventor : TARUI YASUO  
 SAKAMAKI KAZUO

(54) TRANSISTOR TYPE FERROELECTRIC NON-VOLATILE STORAGE ELEMENT AND ITS MANUFACTURING METHOD

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve integration, and at the same time, to improve reliability in a ferroelectric transistor having MFMIS (conductor films-ferroelectric films- conductor films-insulating films-semiconductors) structure.

SOLUTION: In a gate insulator capacitor made of MIS structure, a low permittivity layer inhibition layer 2 is interposed between the insulating film 3 made of a material having high permittivity of CeO<sub>2</sub> and a semiconductor substrate 1 to inhibit the generation of a low-permittivity layer such as an SiO<sub>2</sub> at the interface between the insulating film 3 and semiconductor substrate 1, and to inhibit reduction in capacity. The area of the gate insulator capacitor can be reduced to improve integration.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

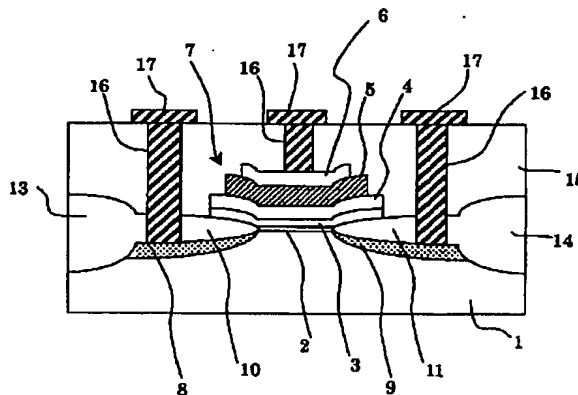
[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 シリコンを主体とする半導体基板上に、絶縁膜、第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜を順次積層したゲート構造を持つトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子であって、高誘電率材料からなる前記絶縁膜と前記半導体基板との界面に形成された窒素を含む低誘電率層抑制層とを備えることを特徴とするトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項2】 ソース領域およびドレイン領域を覆う厚膜のシリコン酸化膜を備え、前記シリコン酸化膜上と前記半導体基板のチャネル領域上とに前記絶縁膜があり、前記第1導電体膜および前記絶縁薄膜のチャネル長方向の長さがチャネル長より長い構造であることを特徴とする請求項1に記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項3】 前記第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜からなる強誘電体キャパシタの有効面積が、前記チャネル領域の面積より小さい構造をもつことを特徴とする請求項1または2に記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項4】 前記第2導電体膜は、素子分離領域上に延びており、当該素子分離領域上にコンタクトを有することを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項5】 前記絶縁膜は、 $Ta_2O_5$ 、 $SrTiO_3$ 、 $TiO_2$ 、 $(Ba, Sr)TiO_3$ 、 $Al_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $HfO_2$ 、 $Y_2O_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CeZrO_3$ 、 $YSZ$ （酸化イットリウム安定化酸化ジルコニウム）からなるグループから選んだ1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項6】 前記強誘電体膜は、 $SrBi_2Ta_2O_{10}$ 、 $PbTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}La_xZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Bi_4Ti_3O_{12}$ 、 $Pb_3Ge_2O_{11}$ 、 $SrNbO_3$ 、および $Sr_2Ta_2Nb_{1-x}O_7$ からなるグループの中から選ばれた1つの材料の膜であることを特徴とする請求項1乃至5の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項7】 前記導電体膜は、白金、イリジウム、酸化イリジウム、導電性多結晶シリコンからなるグループの中から選ばれた1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることを特徴とする請求項1乃至6の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子。

【請求項8】 シリコンを主体とする半導体基板上に、絶縁膜、第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜を順次積層したゲート構造を持つトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法であって、前記半導体基板上にダミーゲートを形成する工程と、

前記ダミーゲートをマスクとしてソース領域とドレイン領域とを形成する工程と、

前記ダミーゲートをマスクとして前記半導体基板表面を熱酸化することによって、ソース領域とドレイン領域とを覆う厚膜の酸化膜を形成する工程と、

前記ダミーゲートを除去した後、低誘電率層抑制層を形成する工程と、

前記低誘電率層抑制層上に高誘電率材料からなる前記絶縁膜を形成する工程とを備え、前記絶縁膜上に第1導電体膜、前記強誘電体膜、前記第2導電体膜を順次形成することを特徴とするトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法。

【請求項9】 前記低誘電率層抑制層を、イオン注入法、窒素プラズマ法、真空蒸着、レーザーアブレーション法、CVD（Chemical Vapor Deposition：化学気相成長）、またはスパッター法で形成することを特徴とする請求項8に記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法。

【請求項10】 前記絶縁膜は、 $Ta_2O_5$ 、 $SrTiO_3$ 、 $TiO_2$ 、 $(Ba, Sr)TiO_3$ 、 $Al_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $HfO_2$ 、 $Y_2O_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CeZrO_3$ 、 $YSZ$ （酸化イットリウム安定化酸化ジルコニウム）からなるグループから選んだ1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることを特徴とする請求項8または9に記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法。

【請求項11】 前記強誘電体膜は、 $SrBi_2Ta_2O_{10}$ 、 $PbTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}La_xZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Bi_4Ti_3O_{12}$ 、 $Pb_3Ge_2O_{11}$ 、 $SrNbO_3$ 、および $Sr_2Ta_2Nb_{1-x}O_7$ からなるグループの中から選ばれた1つの材料の膜であることを特徴とする請求項8乃至10の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法。

【請求項12】 前記導電体膜は、白金、イリジウム、酸化イリジウム、導電性多結晶シリコンからなるグループの中から選ばれた1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることを特徴とする請求項8乃至11の何れかに記載のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、不揮発性記憶素子に関し、特に、強誘電体をゲートに用いたトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子およびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】強誘電体をゲートに用いたトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子は、基本構造として通常のMOS-FET（Metal Oxide Semiconductor - Field Effect Transistor：導電体膜-酸化膜-半導体-電界効

果型トランジスタ)の絶縁膜である酸化膜を強誘電体に置き換えた構成を有しているMFS-FET (Metal-Ferroelectric-Semiconductor - Field Effect Transistor: 導電体膜-強誘電体膜-半導体-電界効果型トランジスタ)がある。このMFS-FET型メモリは、強誘電体の分極がトランジスタの閾値電圧を変化させ、ソース、ドレイン間のチャネルの抵抗変化をドレイン電流値の大小の変化として読み取る方式のものである。この方式は強誘電体の残留分極の保持により、トランジスタのON、OFFを維持するため、低電圧による読み出し動作により情報が破壊されない、いわゆる非破壊読み出しである。

【0003】強誘電体をゲートに配置するMFS-FETは強誘電体(F)と半導体(S)の間に良好な界面を作ることが難しい、これを避ける方法は大きく分けると2つの種類に分けられる。その一つは、MFIIS (Metal-Ferroelectric-Insulator-Semiconductor: 導電体膜-強誘電体膜-絶縁膜-半導体)構造を持つ強誘電体トランジスタで、MFS構造の強誘電体膜(F)と半導体(S)との間に絶縁膜(I)を挟み込んだものである。強誘電体とその分極によりゲート絶縁膜を介して、半導体基板表面に電荷を誘起するものである。

【0004】もう一つは、MFMIIS (Metal-Ferroelectric-Metal-Insulator-Semiconductor: 導電体膜-強誘電体膜-導電体膜-絶縁膜-半導体)構造を持つ強誘電体トランジスタで、MFIIS構造の強誘電体膜(F)と絶縁膜(I)との間に導電体膜(M) (またはフローティングゲートと呼ぶ)を挟み込んだものである。本発明は、後者のMFMIIS構造に関するものである。なお、本明細書中で記載している導電体膜または導電体層とは、金属の他、多結晶シリコンまたは金属と多結晶シリコンとの合金などの導電体も含むものとする。

【0005】従来のMFMIIS型強誘電体メモリは、図4(a)に示すように、半導体基板41上にソース領域42とドレイン領域43とが形成されていて、その中間の半導体基板の主面にゲート酸化膜としての酸化膜(SiO<sub>2</sub>)44と下部の導電体膜としてのポリシリコン(Poly-Si)45とが積層され、更にその上に下部の導電体膜であるとともに強誘電体材料とPoly-Siとの相互拡散を防ぐためにバリア膜46としてIr/IrO<sub>2</sub>(イリジウム/酸化イリジウム)が積層され、その上に強誘電体薄膜(例えば、PZT(PbZr<sub>1-x</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub>))47、その上に上部の導電体膜48、すなわち、ゲート電極としてIr/IrO<sub>2</sub>が積層されている。これらの積層膜をリソグラフィとエッチングでゲート構造49を形成している。(参考文献:T. Nakamura et al. Dig. Tech. Pap. of 1995 IEEE Int. Solid State Circuits Conf. P.68(1995))

【0006】図4(b)は図4(a)のMFMIIS構造を等価回路で表したもので、上部のMFMIIS構造からなる

強誘電体キャパシタの容量(C<sub>F</sub>)と下部のMIS構造からなるゲート絶縁体キャパシタの容量(C<sub>I</sub>)とが直列に接続されている。図4(b)において上部電極Aと半導体基板B間に電圧を印加して、強誘電体層を分極させる時、記憶保持特性の観点から強誘電体の分極が十分飽和するまで電圧を印加することが必要である。

【0007】強誘電体キャパシタに分配される電圧は、強誘電体キャパシタの容量(C<sub>F</sub>)とゲート絶縁体キャパシタの容量(C<sub>I</sub>)とのカップリング比(C<sub>I</sub>/(C<sub>I</sub>+C<sub>F</sub>))に依存する。

【0008】強誘電体キャパシタに分配される電圧を大きくするには、ゲート絶縁体キャパシタの容量(C<sub>I</sub>)が強誘電体キャパシタの容量(C<sub>F</sub>)に比較して大きくなるように設計することが重要である。

【0009】そこでゲート絶縁体キャパシタの容量(C<sub>I</sub>)が強誘電体キャパシタの容量(C<sub>F</sub>)に比較して大きくなるように設計するために、ゲート絶縁膜を薄くすること、強誘電体薄膜を厚くすることが考えられるが、ゲート絶縁膜44を薄くすることは耐圧およびリーク電流の点から限界がある。また強誘電体薄膜47を厚くすると強誘電体の分極を飽和させるために、高い駆動電圧を必要とすることになる。

【0010】これらの問題を避けてゲート絶縁体キャパシタの容量(C<sub>I</sub>)を強誘電体キャパシタの容量(C<sub>F</sub>)に比較して大きくする従来方法は、キャパシタンスC<sub>F</sub>とキャパシタンスC<sub>I</sub>の面積を変える方法である。これを行った簡単な断面模式図を図4(c)に示す。C<sub>I</sub>を構成するMIS(導電体-絶縁体-半導体)部の面積の一部のみに強誘電体層を有するMFMIIS構造を有している。この従来方法によって、C<sub>I</sub>を必要に応じてC<sub>F</sub>に比較して大きく設計することができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】図4(a)に示すような従来構造は、MFMIIS構造(ゲート構造49)を同一寸法に形成した後にソース領域42、ドレイン領域43に不純物を導入し活性化などの熱処理を行うと強誘電体に含まれる不純物が遊離してシリコンに拡散してデバイス特性を劣化させる問題を有していた。

【0012】さらに、図4(a)のようにMFMIIS構造の端面を一括して加工すると側壁にダメージが生じるので、リーク通路が形成される。これは、例えば、ドライエッチング加工時に、エッチング中に削り取られた電極材料(導電体材料)とレジストの生成物(導電性)が強誘電体の側壁に付着して形成される。リーク通路が形成されると、リーク電流がリーク通路を通じてMFMIIS構造の下部の導電体膜(ポリシリコン膜45、バリア膜46)に電荷が蓄積されて、強誘電体膜47からの電気力線を遮へいする。その結果、半導体基板41の表面のキャリアが消滅して、分極は残っているがドレイン電流は流れなくなり、記憶情報は消滅するという問題点を有し

ている。

【0013】一方、図4(c)に示すように、ゲート絶縁体キャパシタの容量( $C_i$ )を強誘電体キャパシタの容量( $C_f$ )と比較して大きくするためMFMI構造の上部の導電体膜の面積をその下部構造の面積より小さくした従来構造においても、同様に各々の膜をリソグラフィとエッチングで加工した後に、ソース領域42、ドレイン領域43に不純物を導入し活性化などの熱処理を行うと強誘電体に含まれる不純物が遊離してシリコンに拡散してデバイス特性を劣化させる問題と、側壁にダメージが生じるので、リーク通路が形成される。リーク通路が形成されると、リーク電流がリーク通路を通じて下部の導電体膜(ポリシリコン膜45、バリア膜46)に電荷が蓄積されて、強誘電体膜47からの電気力線を遮へいする。その結果、半導体基板41の表面のキャリアが消滅して強誘電体の分極は残っているがドレイン電流は流れなくなり、記憶情報は消滅する問題点を有している。

【0014】上述のような強誘電体による汚染を防ぐために、図5(a)に示すように、通常のMOSトランジスタ51を形成した後に、このMOSトランジスタ51の上の層間絶縁膜52に開けたコンタクトホール53を介してMOSトランジスタ51のゲート54に強誘電体キャパシタを接続する方法がある。しかし、この構造ではMOSトランジスタ51のゲート54とコンタクトホール53の位置合わせの余裕が必要なため、ゲート電極幅(ゲート長)を最小加工寸法まで短く出来ない。また位置合わせ余裕が極めて小さくすると、例えば、図5

(b)のようにソース領域42とゲート54とにバリア膜46が接続される等の不具合が発生し、不揮発性記憶素子として動作せず、トランジスタの歩留まりが急激に低下する。このように、MFMI S構造を持つ強誘電体トランジスタは、ゲート長をLSIの製造プロセスの加工寸法に設定できない問題を有している。

【0015】さらに、従来、ゲート絶縁体キャパシタの絶縁材料として、強誘電体材料の比誘電率( $SBT: \epsilon = 200$ 、 $PZT: \epsilon = 1000$ )と比べて、非常に小さい比誘電率の酸化膜( $\epsilon = 3.9$ )や窒素を含有した $SiON$ (酸化窒素膜: $\epsilon = 5 \sim 7$ )や窒化膜( $\epsilon = 7 \sim 8$ )を用いていたので、 $C_i$ を必要に応じて $C_f$ に比較して大きく設計するために、ゲート絶縁体キャパシタの面積を大きくしなければならない。

【0016】そこでゲート絶縁体キャパシタの容量( $C_i$ )が強誘電体キャパシタの容量( $C_f$ )に比較して小さくなるように設計するために、ゲート絶縁膜に酸化膜や窒化膜系より比誘電率が高い材料(例えば比誘電率が26の $CeO_2$ )などを用いることによって、ゲート絶縁体キャパシタの容量( $C_i$ )を大きくする試みもあるが、例えば $CeO_2$ などの比誘電率が高い材料をシリコンの上に10nm成膜すると、シリコンと比誘電率が高い絶

縁膜( $CeO_2$ )との間に $SiO_2$ 等の低誘電率層が5nm形成され、その絶縁膜の合計膜厚は15nmとなりゲート絶縁膜キャパシタの単位面積当りのキャパシタンスが低下する。その結果、低下したキャパシタンスを得るためにはゲート絶縁膜キャパシタの面積を大きくする必要がある。

【0017】そこで本発明は、高集積化が可能で信頼性の高いトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することを目的とするものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子では、シリコンを主体とする半導体基板上に、絶縁膜、第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜を順次積層したゲート構造を持つトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子であって、高誘電率材料からなる前記絶縁膜と前記半導体基板との界面に形成された窒素を含む低誘電率層抑制層とを備えることを特徴とするものである。

【0019】このように、シリコンを主体とする半導体基板表面に窒素を含む膜厚が薄い低誘電率層抑制層があるので高誘電率材料からなる絶縁膜と半導体基板との間に厚い低誘電率層が形成されない。このため、絶縁膜の合計膜厚が大きく増加しないので、低誘電率層抑制層を形成していない場合と比較して単位面積当りのゲート絶縁容量が増加する。従って、単位面積当りのゲート絶縁容量が増加した分、ゲート絶縁体キャパシタの面積を大きくする必要がなく、メモリセル面積を小さくすることができる。具体例を挙げれば、低誘電率層抑制層が無い半導体基板上に高誘電率材料( $\epsilon = 26$ )の絶縁膜 $CeO_2$ を10nm成膜すると、シリコンと高誘電率材料の絶縁膜 $CeO_2$ との間に $SiO_2$ などの厚い低誘電率層が膜厚5nm形成されるが、半導体基板表面に窒素を含む膜厚が1nmと薄い低誘電率層抑制層上に高誘電率材料( $\epsilon = 26$ )の絶縁膜 $CeO_2$ を10nm成膜すると、シリコンと高誘電率材料の絶縁膜 $CeO_2$ との間に $SiO_2$ などの厚い低誘電率層が形成されない。故に、低誘電率層抑制層を形成することによって絶縁膜の合計膜厚が大きく増加しないので、低誘電率層抑制層を形成していない場合と比較して単位面積当りのゲート絶縁容量が $0.53 \mu F/cm^2$ から $1.68 \mu F/cm^2$ へと約3倍増加する。従って、単位面積当りのゲート絶縁容量が増加した分、ゲート絶縁体キャパシタの面積を大きくする必要がなく、メモリセル面積を小さくすることができる。

【0020】また、本発明のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子では、ソース領域およびドレイン領域を覆う厚膜のシリコン酸化膜を備え、前記シリコン酸化膜上と前記半導体基板のチャネル領域上とに前記絶縁膜があり、前記第1導電体膜および前記絶縁膜のチャネル長方向の長さがチャネル長より長い構造であることが好

10

20

30

40

50

ましい。

【0021】このように構成することにより、ソース領域、ドレイン領域を覆う酸化膜があるので強誘電体薄膜からの汚染物質がシリコン基板に進入しない。絶縁膜と第1導電体膜を加工する時、ソース領域、ドレイン領域を覆う厚膜の酸化膜があるのでゲート構造の端面のダメージが半導体基板に及ぶことがなく、リーク電流が抑えられる。

【0022】また、本発明のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法では、シリコンを主体とする半導体基板上に、絶縁膜、第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜を順次積層したゲート構造を持つトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法であって、前記半導体基板上にダミーゲートを形成する工程と、前記ダミーゲートをマスクとしてソース領域とドレイン領域とを形成する工程と、前記ダミーゲートをマスクとして前記半導体基板表面を熱酸化することによって、ソース領域とドレイン領域とを覆う酸化膜を形成する工程と、前記ダミーゲートを除去した後、低誘電率層抑制層を形成する工程と、前記低誘電率層抑制層上に高誘電率材料からなる前記絶縁膜を形成する工程とを備え、前記絶縁膜上に第1導電体膜、前記強誘電体膜、前記第2導電体膜を順次形成することを特徴とする。

【0023】また、本発明のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法では、前記低誘電率層抑制層を、イオン注入法、窒素プラズマ法、真空蒸着、レーザーアブレーション法、CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長)、またはスパッター法で形成することが好ましい。

【0024】通常は第1導電体膜、強誘電体膜、第2導電体膜を積層し、エッチングしてなる強誘電体キャパシタを形成した後に、半導体基板にイオン注入をおこなう、熱処理をしてソース領域、ドレイン領域を形成するため、イオン注入によって強誘電体膜の側壁にダメージが生じる恐れがある。これに対して、本発明の製造方法はソース領域、ドレイン領域を形成した後の強誘電体キャパシタを形成するので側壁へのダメージの問題がないという利点がある。また、第1導電体膜と絶縁膜とはチャンネル上にあるとともにその端面が厚いシリコン酸化膜にかかるように形成されることによって、チャンネル長との位置合わせの余裕を確保される。このように、信頼性を向上させながら、実効的にゲート構造に対するセルフアラインプロセスを用いてトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を製造できる。

【0025】また、ソース、ドレイン領域を覆う厚膜のシリコン酸化膜を用いることにより、ゲート電極部の寄生容量を減少させ、高速動作を可能にする。

【0026】また、トランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子とその製造方法では、前記絶縁膜は、 $Ta_2O_5$ 、 $SrTiO_3$ 、 $TiO_2$ 、 $(Ba, Sr)TiO_3$ 、 $Al_2O_3$ 、

$O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $HfO_2$ 、 $Y_2O_3$ 、 $CeO_2$ 、 $CeZrO_3$ 、 $YSZ$  (酸化イットリウム安定化酸化ジルコニウム) からなるグループから選んだ1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることが好ましい。

【0027】また、トランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子とその製造方法では、前記強誘電体膜は、 $SrBiTa_2O_7$ 、 $PbTiO_3$ 、 $PbZr_{1-x}Ti_xO_3$ 、 $Pb_{1-x}La_xZr_{1-x}Ti_{1-x}O_3$ 、 $Bi_2Ti_2O_7$ 、 $Pb_3Ge_2O_{11}$ 、 $SrNbO_3$  および  $Sr_2Ta_2Nb_{1-x}O_7$  からなるグループの中から選ばれた1つの材料の膜であることが好ましい。

【0028】また、トランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子とその製造方法では、前記導電体膜は、白金、イリジウム、酸化イリジウム、導電性多結晶シリコンからなるグループから選んだ1つの材料の層または2つ以上の材料の積層であることが好ましい。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を実施例に基づき詳細に説明する。尚、各図は、本発明が理解できる程度の大きさ、構成および配置関係を概略的に示しているに過ぎない。また、以下に記載する数値やプロセス条件、材料などは単に一例に過ぎない。従って、本発明は、この例示的な実施形態に何ら限定されるものではない。

【0030】まず、本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の構成を説明する。図1は本例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の要部の断面図である。本例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子では、単結晶シリコンを主体とする半導体基板1のチャンネル領域の表面に薄い低誘電率層抑制層2を備え、その上に高誘電率材料からなる絶縁膜3、第1導電体膜4、強誘電体膜5、第2導電体膜6が順次積層されてなるゲート構造7が構成され、MFMIS (Metal-Ferroelectric-Metal-Insulator-Semiconductor: 導電体膜-強誘電体膜-導電体膜-絶縁膜-半導体) 構造を備えている。ここで、薄い低誘電率層抑制層2はシリコン窒化酸化膜 (SION) であり、絶縁膜3は、一般的にゲート酸化膜として用いられるシリコン酸化膜やシリコン窒化膜より高い比誘電率の材料である  $CeO_2$  膜を用いる。

【0031】また、本例の素子では、半導体基板1のソース領域8、ドレイン領域9上を覆う厚膜のシリコン酸化膜10、11を備え、このシリコン酸化膜10、11上に絶縁膜3があり、絶縁膜3およびその上の第1導電体膜4のチャンネル長方向の長さがチャンネル長より長い構造を備える。トランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子は、素子分離領域としてフィールド酸化膜13、14によって他の素子より分離される。

【0032】以上のゲート構造7、シリコン酸化膜10、11およびフィールド酸化膜13、14は層間絶縁

10

20

30

40

50

膜15に覆われており、この層間絶縁膜15には第2導電膜6、ソース領域8、ドレイン領域9のそれぞれに通じるコンタクトホール16~16が設け、それぞれにアルミ電極17~17による配線を施してそれぞれのコンタクト部を形成している。

【0033】次にトランジスタ型不揮発性記憶素子の製造方法を説明する。図2(a)乃至2(i)は各工程における断面図であり、これらの図を参照しながら、以下、製造プロセスを述べる。

【0034】まず、抵抗率 $10\Omega\text{cm}$ のp型シリコン(100)半導体単結晶基板を半導体基板1とし、図2(a)に示すように半導体基板1上にアクティブ領域を定めるためにフィールド酸化膜13、14を形成する。

【0035】次に図2(b)に示すように、酸化膜21と窒化膜22を順次に積層した後に、通常のリソグラフィ技術とエッチング技術でダミーゲート23を形成する。酸化膜21は、例えば膜厚35nm程度とする。

【0036】次に図2(c)に示すように、ソース領域8、ドレイン領域9を形成するためにダミーゲート23をマスクにリンをイオン注入する。

【0037】次に図2(d)に示すように、例えば、酸素雰囲気中で $800^\circ\text{C}$ にてアニールしてソース領域8、ドレイン領域9を覆うシリコン酸化膜10、14を形成する。

【0038】次に図2(e)に示すように、窒化膜22を磷酸で除去した後に、低誘電率層を抑制する低誘電率層抑制層2を形成するために基板に窒素24を加速エネルギー $15\text{KeV}$ で、ドーズ量 $1\text{E}15/\text{cm}^2$ で注入する。

【0039】次に図2(f)に示すように、最初に形成したダミーゲート23の一部としての酸化膜21をHF(フッ酸)で除去する。

【0040】次に図2(g)に示すように、熱酸化処理をおこないシリコン基板上に膜厚1nmの低誘電率層抑制層2を形成した後に、電子ビーム蒸着法を用いて絶縁膜3として膜厚10nmの $\text{CeO}_2$ (酸化セリウム)を堆積し、 $800^\circ\text{C}$ 、酸素雰囲気中で熱処理を行った。この時、シリコン基板、すなわち、半導体基板1の表面に1nmの $\text{SiON}$ 膜が存在するので、 $\text{CeO}_2$ とシリコンとの界面に $\text{SiO}_2$ 等の低誘電率層が形成されない。

【0041】次にリンを含んだポリシリコン膜25をCVD法で200nm堆積させた後に、強誘電体材料とポリシリコンとの相互拡散を防ぐためのバリア膜としての $\text{IrO}_2$ 膜26をスパッター法で200nm堆積させた。第1導電体膜4は、ポリシリコン膜25と $\text{IrO}_2$ 膜26とから形成される。次に強誘電体薄膜5としてSBT膜をスピンコート法によって300nm形成する。例えば、SBT膜は次のように形成される。まず、2エチルヘキサン塩酸からなるストロンチウム(Sr)、ビスマス(Bi)、タンタル(Ta)の有機金属液を用意

し、金属モル比で、 $\text{Sr}:\text{Bi}:\text{Ta}=0.8:2.2:2.2$ の割合で混合し、0.15モルパーセントになるように、ヘキサンで希釈した。この薬液を2000rpmで回転している基板1のウエハに滴下して塗布し、大気中で $150^\circ\text{C}$ で乾燥した後 $250^\circ\text{C}$ で乾燥させ、さらに管状炉で $400^\circ\text{C}$ 酸素雰囲気中で乾燥させた。再度、前記薬液をウエハに塗布しこの操作を繰返して、計5回薬液をウエハに塗布し乾燥させると、 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_{10}$ (SBT)の強誘電体膜5が形成される。次に第2導電体薄膜6としてPt(白金)膜をスパッター法で200nm堆積する。

【0042】次に図2(h)に示すように、通常のリソグラフィ技術とドライエッチング技術で第2導電体膜6としてのPt膜、強誘電体膜5としてのSBT膜、第1導電体膜4としての $\text{IrO}_2$ 膜26およびポリシリコン膜25、絶縁膜3としての $\text{CeO}_2$ 膜を順次エッチングし、ゲート構造7を形成する。

【0043】次に図2(i)に示すように、層間絶縁膜15としてシリコン酸化膜をプラズマCVDにより形成した後に、第2導電体膜6(Pt膜)と、ソース領域8とドレイン領域9とのそれぞれに達するコンタクトホール16~16を開けて、アルミニウム電極17~17を形成して本例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子が完成する。

【0044】次に完成したトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の平面図を図3(a)に示す。なお、上述の断面図(図1および図2(i))は図3(a)のA-A線断面図に相当する。絶縁膜3と第1導電体膜4とは、一括してエッチングしてパターン形成され、チャネル長方向の長さがチャネル長より長い同一の平面形状であり、ソース領域8、ドレイン領域9をそれぞれ覆うシリコン酸化膜10、11にわたって形成されており、端部はシリコン酸化膜10、11上にある。これにより、トランジスタを高速動作させるためにチャネル長を十分に短くすることができる。さらに、位置合わせ余裕ができることに加え、エッチングの際の端面のダメージを、シリコン酸化膜10、11によるバリア膜で抑え、半導体基板1に及ぶことを抑えることができる。

【0045】絶縁膜3および第1導電体膜4に続いて順次パターン形成される強誘電体膜5、第2導電体膜6の面積は、絶縁膜3および第1導電体膜4の面積よりも小さい。この面積設定により、半導体基板1乃至第1導電体膜4の積層構造であるMIS構造からなるゲート絶縁体キャパシタの容量( $C_i$ )を、第1導電体膜4乃至第2導電体6の積層構造であるMFM構造からなる強誘電体キャパシタの容量( $C_f$ )に比較して大きくしてある。

【0046】本例によれば、半導体基板1と絶縁膜3との間に低誘電率層抑制層2を介在させることにより、 $\text{CeO}_2$ のような比較的高い比誘電率の材料からなる絶縁

膜3を半導体基板1上に直接成膜した際に半導体基板1と絶縁膜3との界面に生じる $\text{SiO}_2$ 等の低誘電率層の発生を抑制している。このため、MIS構造によるゲート絶縁体キャパシタの電極間の絶縁膜の合計膜厚が大きく増加しないので、低誘電率層抑制層を形成していない場合と比較して単位面積当りのゲート絶縁容量が増加する。従って、単位面積当りのゲート絶縁容量が増加した分、ゲート絶縁体キャパシタの面積を大きくする必要がなく、メモリセル面積を小さくすることができる。

【0047】さらに、ダミーゲート23を用いることにより、セルフアラインにてソース領域8とドレイン領域9とを形成することができ、さらにこのダミーゲート23をマスクとしてソース領域8、ドレイン領域9を覆うシリコン酸化膜10、11を形成することができる。このシリコン酸化膜10、11により、ゲート絶縁膜や強誘電体の端面におけるリーク電流の発生や電荷の注入を防ぎ、さらに、活性化などの熱処理による強誘電体からシリコン基板への汚染を防ぐことができる。また、ソース、ドレイン領域8、9を覆う厚膜のシリコン酸化膜10、9を用いることにより、ゲート電極部の寄生容量を減少させることができ、高速動作も可能である。

【0048】以上により、高集積化が可能で、信頼性が高く、高速動作のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することが可能となる。上述の実施例では低誘電率層抑制層の形成プロセスでシリコン基板に窒素をイオン注入して形成したが、これ以外に窒素プラズマ法、真空蒸着、レーザーアブレーション法、CVD (Chemical Vapor Deposition: 化学気相成長)、またはスパッター法でも同様に可能である。

【0049】上述の実施例では強誘電体薄膜の形成プロセスでスピコート法を用いることとしたがこれ以外に真空蒸着、レーザーアブレーション法、MOCVD (MetalOrganic Chemical Vapor Deposition: 有機金属化学気相成長)、LSMCD (Liquid Source Mist Chemical Deposition: 化学成長) またはスパッター法でも同様に可能である。

【0050】上述の実施例で説明した、上部電極、すなわち、第2導電体膜6へのコンタクト部は必ずしもチャネル領域上でなくでも良く、素子分離領域上でも問題が無く、上述の効果については同じである。このような構造のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の平面図を図3(b)に示す。この場合、第1導電体膜4乃至第2導電体6の積層構造であるMFM構造を素子分離領域13、14上に形成する。本例では、コンタクト部のサイズがチャネル長に依存せず、位置合わせに余裕を持たせることができ、トランジスタ型不揮発性記憶素子の信頼性をさらに向上させることが可能となる。

【0051】また、上記1実施例で述べた絶縁膜3は $\text{CeO}_2$ 以外に、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、( $\text{Ba}$ 、 $\text{Sr}$ ) $\text{TiO}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{HfO}_2$ 、 $\text{Y}$ 、

$\text{O}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{CeZrO}_2$ 、YSZ (酸化イットリウム安定化酸化ジルコニウム) からなるグループから選んだ1つの材料の層としても同様に可能である。また、このグループから選んだ複数の層を積層してもよい。

【0052】また、上記1実施例で述べた前記強誘電体薄膜はSBT以外に、強誘電体膜6は、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ 、 $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ 、 $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Pb}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ 、 $\text{SrNbO}_3$ および $\text{Sr}_2\text{Ta}_2\text{Nb}_{1-x}\text{O}_7$ からなるグループの中から選ばれた1つの材料の薄膜でも同様に可能である。

【0053】前記導電体薄膜として白金、イリジウム、酸化イリジウム、導電性多結晶シリコンの1つを主体とする薄膜またはこれらを2種類以上積層した構造を使用することも可能である。

【0054】

【発明の効果】本発明によれば、シリコンを主体とする半導体基板上に窒素を含む低誘電率層抑制層を備えることで、ゲート絶縁膜として高誘電率材料からなる絶縁膜を用いる場合でも、絶縁膜と半導体基板との間の厚い低誘電率層を抑制できる。このため、絶縁膜の合計膜厚が大きく増加しないので、低誘電率層抑制層を形成していない場合と比較して単位面積当りのゲート絶縁容量が増加する。従って、単位面積当りのゲート絶縁容量が増加した分、半導体基板、絶縁膜、第1導電体膜の積層構造からなるゲート絶縁体キャパシタの面積を大きくする必要がなく、メモリセル面積を小さくすることができる。これにより、高集積化が可能なトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することが可能となる。

【0055】また、ダミーゲートを用いることにより、セルフアラインにてソース領域とドレイン領域とを形成することができ、さらにこのダミーゲートをマスクとしてソース領域、ドレイン領域を覆う厚膜のシリコン酸化膜を形成することができる。このため、ゲート絶縁膜や強誘電体膜の端面におけるリーク電流の発生や電荷の注入を防ぐとともに、活性化などの熱処理による強誘電体からシリコン基板への汚染を防ぐこともできる。これにより、信頼性の高いトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することが可能となる。

【0056】ソース、ドレイン領域を覆う厚膜のシリコン酸化膜を用いるため、ゲート電極部の寄生容量を減少させることができ、高速動作が可能である。これにより、高速動作のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することが可能となる。

【0057】以上のことから、高集積化が可能で、信頼性が高く、高速動作のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の構成を示す断面図。

【図2(a)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電

体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (b)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (c)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (d)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (e)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (f)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (g)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

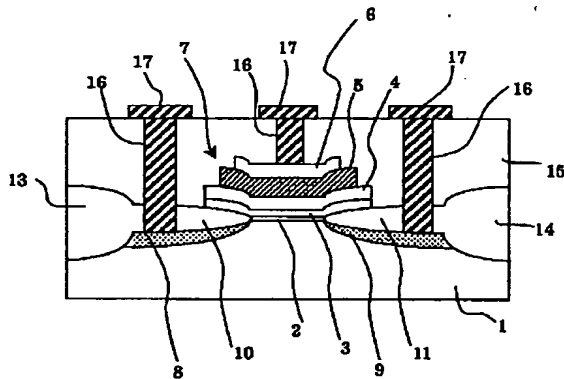
【図 2 (h)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

【図 2 (i)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の製造方法の各工程を示す断面図。

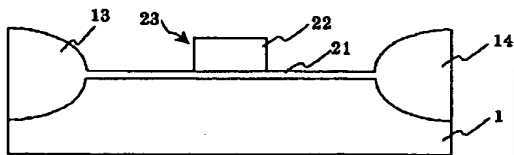
【図 3 (a)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の構成を示す平面図。

【図 3 (b)】本発明の実施例のトランジスタ型強誘電

【図 1】



【図 2 (b)】



体不揮発性記憶素子において、MFM構造を素子分離領域上に配置した構成を示す平面図。

【図 4 (a)】従来のMFMIS構造をもつトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の断面図である。

【図 4 (b)】トランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の等価回路図である。

【図 4 (c)】従来のMFMIS構造をもつトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の断面図。

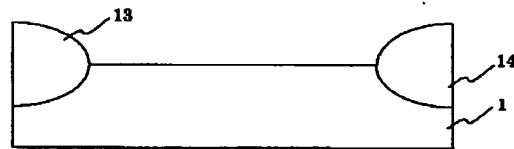
【図 5 (a)】従来のMFMIS構造をもつトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の断面図。

【図 5 (b)】従来のMFMIS構造をもつトランジスタ型強誘電体不揮発性記憶素子の断面図。

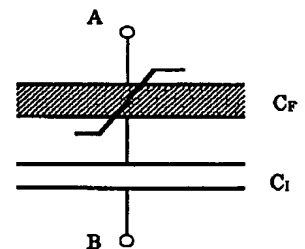
【符号の説明】

- 1 半導体基板
- 2 低誘電率層抑制層
- 3 絶縁膜
- 4 第1導電体膜
- 5 強誘電体膜
- 6 第2導電体膜

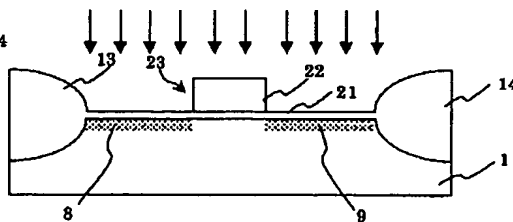
【図 2 (a)】



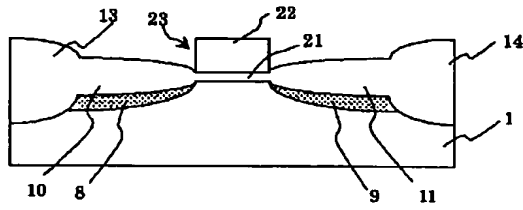
【図 4 (b)】



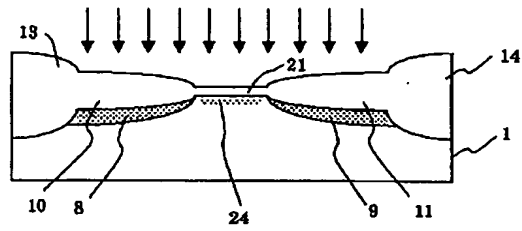
【図 2 (c)】



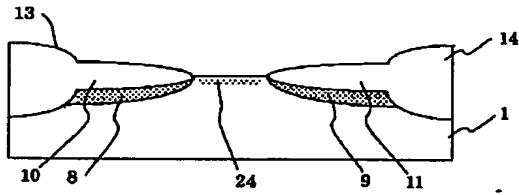
【図 2 (d)】



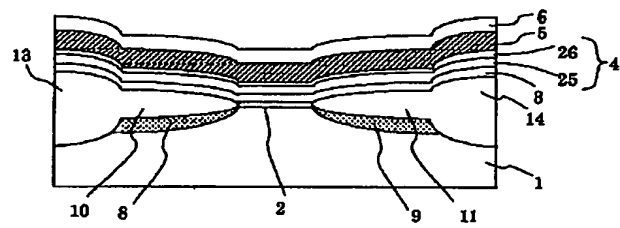
【図 2 (e)】



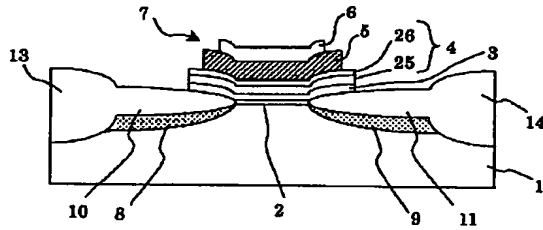
【図 2 (f)】



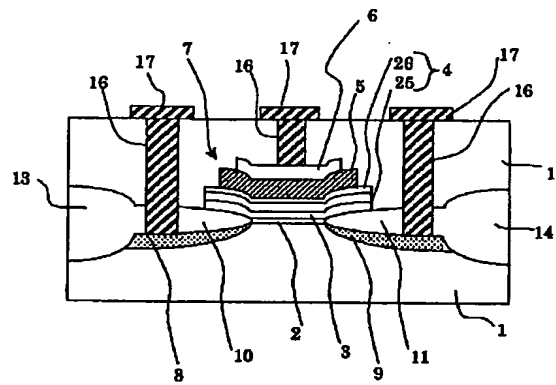
【図 2 (g)】



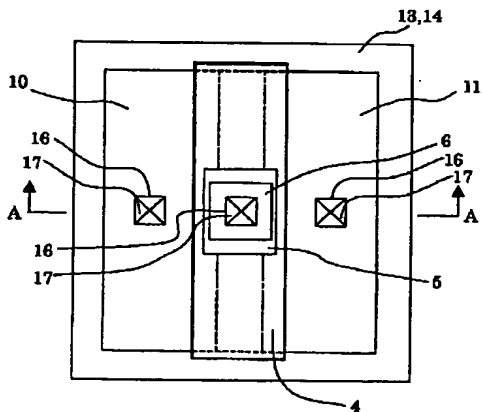
【図 2 (h)】



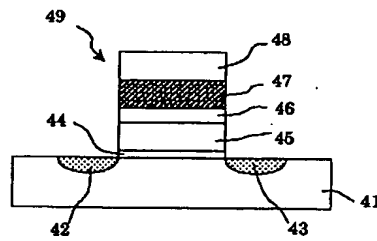
【図 2 (i)】



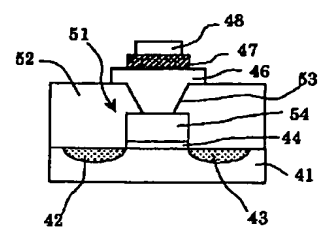
【図 3 (a)】



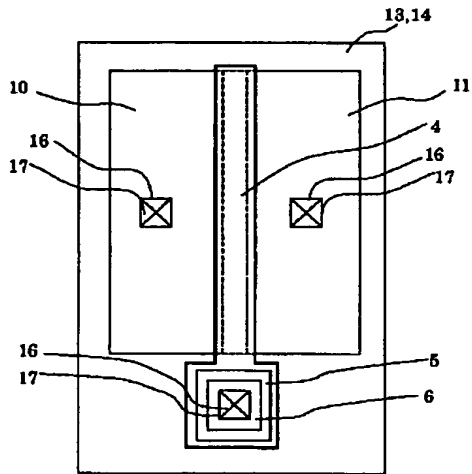
【図 4 (a)】



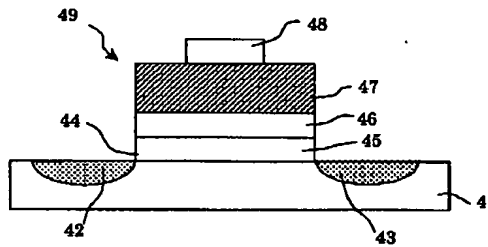
【図 5 (a)】



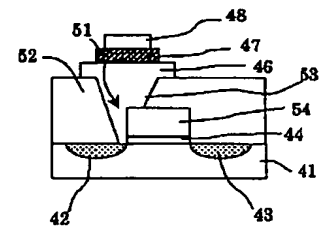
【図 3 (b)】



【図 4 (c)】



【図 5 (b)】



フロントページの続き

(72)発明者 坂巻 和男  
東京都江東区福住二丁目４番３号 日本ブ  
レシジョン・サーキット株式会社内

Fターム(参考) 5F083 FR07 GA09 GA25 JA02 JA05  
JA06 JA12 JA13 JA14 JA15  
JA17 JA36 JA38 JA43 MA06  
MA19 PR12 PR23 PR36 ZA28  
5F101 BA12 BA19 BA26 BA35 BA62  
BB02 BB08 BD05